

フィルタイプダム地震時応答特性とその耐震設計への応用に関する研究

著者	森 芳信
号	360
発行年	1972
URL	http://hdl.handle.net/10097/9096

氏 名（本籍）	もり 森	よし 芳	のぶ 信	（大阪府）
学 位 の 種 類	工	学	博	士
学 位 記 番 号	工	博	第 3 6 0 号	
学位授与年月日	昭 和 4 7 年 6 月 7 日			
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当			
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科			
	（博士課程）土木工学専攻			
学 位 論 文 題 目	フィルタイプダムの地震時応答特性とその耐震設計への応用に関する研究			
	（主査）			
論文審査委員	教授 河上 房義	教授 多谷 虎男		
	教授 後藤 幸正	教授 佐竹 正雄		

論 文 内 容 要 旨

最近の土質工学の発達，大規模土工機械の発達，あるいはフィルタイプダムに有利なダムサイドが多いこと等の理由により，フィルタイプダムは将来ますます増加するみとおしである。また，ダム数の増加だけではなく，アメリカやソ連では堤高 200 m 以上の高ダムが築造されている。

しかしながら，フィルタイプダムは震度階Ⅳ程度の地震でも震害が発生しているので，我国のような地震国では充分な耐震設計をする必要がある。現在行なわれているフィルタイプダムの耐震設計はダムや地盤の固有周期，ダム地点の谷の拘束の影響等を考慮しない震度法で行なわれており，より合理的な耐震設計が望まれている。

本論文はフィルタイプダムの地震時応答について，実在するダムでの地震観測，質点系による応答計算，および振動模型実験とにより明らかにし，現行の耐震設計をより合理的なものにすることを目的としている。

論文は7章よりなり、その概略は次のとおりである。

第1章 緒 論

本章ではフィルタイプダムにより合理的な耐震設計を行なうにあたり、明らかにしなければならない事項について述べた。即ち、振動については、固有周期、スペクトル増幅率、減衰率、振動モード、および振動応力の分布状態、また安定については、破壊の発生状況、破壊の発生震度、コアの地震時安定に対する影響、および石塊の大きさの影響等である。またこれらの総てに谷の拘束の影響が関係する。

本論文では、振動応力の分布状態とコアの地震時安定に対する影響については論じていないが、その他の各項については谷の拘束の影響を根底にふまえて研究し、解答あるいは解決の糸口を与えた。

第2章 フィルタイプダムの耐震設計の概説

本章は2節から成り、第1節ではフィルタイプダムの震害について実際に調査した震害例をもとに、堤高の増加と共に被害率が増加すること、被害の様式はスベリと堤軸方向のキ裂が主であること、波返しに取り付けには耐震上注意を要することなどを述べた。

また第2節ではフィルタイプダムの耐震に関する既往の研究を、実在するダムでの観測によるもの、理論によるもの、および実験によるものに分けて述べた。

第3章 実在するダムにおける地震観測

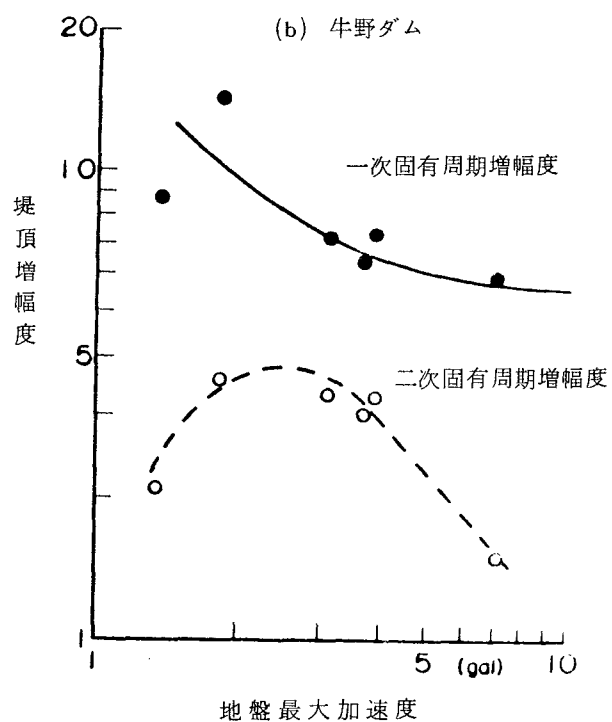
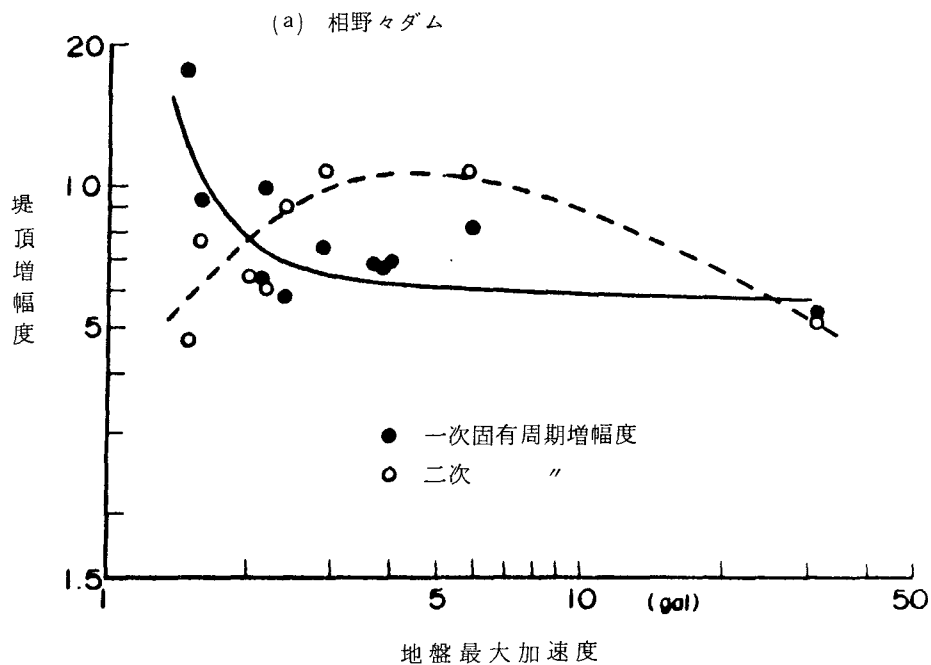
本章では、主として2ケのフィルタイプダム（相野々アースダム、秋田県、堤高40.8m、と牛野ロックフィルダム、宮城県、堤高21.4m）における地震観測から求めたダムの地震時応答について述べた。

ダム基礎地盤の固有周期はダムの地震時応答に強く影響し、堤頂におけるスペクトル密度では、ダムの1次固有周期でのスペクトル密度と地盤の固有周期でのスペクトル密度とが大差のない場合がある。

またフィルタイプダムのようにマッシブな構造物においても明白な固有周期が存在し、1次固有周期での堤頂の地盤に対するスペクトル密度の増幅度は地震が弱い程大きく、地震が強くなるに従い減少し、ほぼ5～6倍の増幅度になる。一方、2次固有周期でのスペクトル密度の増幅度は地盤での最大加速度が数galの弱い地震の時に最大で、それ以上の強い地震に対しては小さくなる（図一1）。これらの増幅度から減衰定数を求めると0.07～0.12程度である。

ダムへの入力地震波の特性が非常に周期的な時には、ダムは殆んどその入力地震波の周期で卓越

図一 1 地盤の最大加速度と堤頂増幅度



して振動するが、まったくランダムな周期特性を持つ入力地震波の時には、ダムはダム自体の固有周期で卓越して振動する。またダムの振動は殆んど1次振動モードのみに従うが、堤体下部と上部とでは位相のズレがある。

第4章 アナログ計算による振動解析

本章では地震観測を行なった2ケのフィルタイプダムについて、アナログ計算機により応答計算を行なった。

ダムを高さ方向に3分割し、各分割重心に質量が集中しているものとして各々の質点間をバネとダッシュポットで連結すると、ダムの振動を質点系の運動に置き換えられる。応答計算の入力地震波としては実測したものをを用い、堤頂と中腹の実測応答と計算応答とを比較した。その結果、ダムをわずか3質点に分割した応答計算においても1次固有周期前後の振動特性は実測とよく一致する。実在するダムでの地震観測によれば、耐震設計の対象となるような強い地震では2次固有周期でのスペクトル密度の増幅度は小さいので、1次固有周期前後の振動特性が実測と一致すれば質点系による応答計算は耐震設計に有効である。

第5章 フィルタイプダムの振動に関する模型実験

本章では電磁式の加振器を用いた模型実験により、地震時のフィルタイプダムの破壊に関する事項や振動性状を調べた。

ロックフィルダムの震害例をみると、表面ロックの転がり落ちが主なものであるが、振動実験によるとさらに強い（変位振幅の大きな）地震があればスベリを発生する可能性がある。しかしながらアースダムでのスベリが瞬間的に崩壊に致るのに対し、ロックフィルダムでのスベリは徐々に発生し、加振停止と共にスベリも停止するのでアースダムより耐震的である。

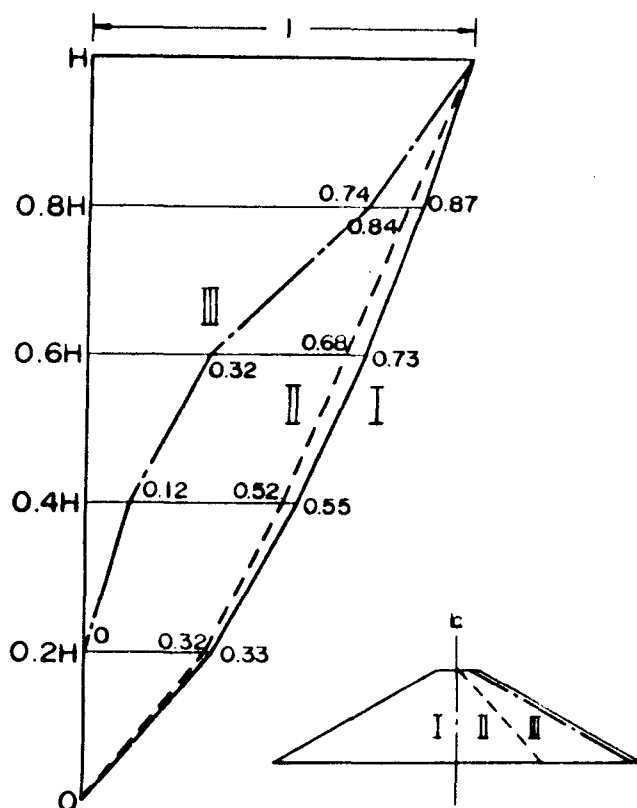
このようなスベリが発生する時の加速度 $k(G)$ は非粘着性材料の場合、

$$k(G) = \tan(\text{内部摩擦角} - \text{ノリ面勾配} + \text{ノリ面とスベリ面との平均角})$$

で表わされる。

また、フィルタイプダムの振動はほぼセン断振動と考えられるが、ノリ面付近では堤体内部と変形の割合が非常に異なり（図-2）、堤体表面に沿って張力が作用し、特に堤体上部約1/3以内に引張りクラックが発生しやすい。

図一 2 模型実験振動モード



第 6 章 実在するダムにおける地震観測と模型実験から見たフィルタイプダムの耐震設計

本章では実在するダムでの地震観測や模型実験等から総合的に考えて、フィルタイプダムの耐震設計をどのようにすべきかを提案した。

この論文から提唱される一連の耐震設計方法は次の如きものである。

- (1) ダム地盤の固有周期の確認；ダム設計画地点での地震観測，あるいは常時微動測定等により確認
- (2) 応答計算用入力地震波の作成；ダム地盤の固有周期を考慮して作成。
- (3) 築堤材料の力学試験
- (4) ダムの固有周期の推定；ダムを有限幅の土層の重なりと考えて，ダムの 1 次固有周期 T_1 を求めると次式で表わされる。

$$T_1 = 3.65 \frac{H}{V}$$

H：堤高（m）， V：横波の伝播速度（m/sec）

この式は実測値とよい近似を与える。また，谷の拘束の影響は堤頂長と堤高の比により見積れる。

(5) 減衰定数の推定；フィルタイプダムは堤高に比して底面積が非常に大きく，堤体材料の粘性による減衰よりエネルギーの地下逸散による減衰の方が大きい。従って減衰定数は堤高に比例すると考えられるが，堤高に直接比例すると考えるより谷の拘束の影響も入ったダムの 1 次固有周期に比例すると考える方が実測値とよく近似する。

(6) 1 次振動モードの推定；フィルタイプダムの振動はセン断振動的であるが，堤体表面付近で変形の割合が急激に変化する。また谷の拘束の影響により変化する。

(7) 質点系による応答計算；ダムの 1 次固有周期，減衰定数，および振動モードが推定されれば質点系による応答計算が可能となる。

(8) 応答計算により求めた各時間毎の高さ方向加速度分布を用いた安定計算を行なうものである。

第 7 章 結 論

本章では各章の結論を要約した。

フィルタイプダムの現行の耐震設計はダムの固有周期や減衰定数，谷の拘束の影響等を考慮しない震度法で行なわれている。本論文ではフィルタイプダムの地震時応答特性を，実在するダムでの地震観測と質点系による応答計算，および振動模型実験により研究し，これ等に基づくより合理的な耐震設計方法を提案した。これによりダムと地盤の固有周期，ダムの減衰定数，および谷の拘束の影響を考慮した耐震設計が可能である。

審 査 結 果 の 要 旨

近年、大規模なダム建設の要望が高まる一方、それらのダム建設地点の中には基礎地盤の条件の不良な所が少なくない。最近における土質力学や岩盤力学の発展と、機械力を用いた施工方法の発達に伴って、フィルタイプダムの力学的な安全に対する信頼性が増し、またこの型式のダムの基礎地盤の必要条件が比較的寛大であるために、大規模ダムの建設にフィルタイプダムが選ばれることが多くなっている。しかしこの型式のダムの耐震性については、未だ十分に明らかでなく、合理的な耐震設計法も確立されていない。本論文は、フィルタイプダムの耐震設計の基礎となる研究成果をまとめたもので、全文7章から成る。

第1章は緒論で、最近のフィルタイプダム建設の趨勢、耐震設計の必要性、耐震設計の実施に際して考慮すべき要件について述べている。

第2章は、最近の地震によりフィルタイプダムが受けた被害について著者が調査した結果を述べ、さらにフィルタイプダムの耐震に関する既往の研究について概観している。

第3章では、数か所の実際のフィルタイプダムについて長期間に亘って行なった地震観測の結果を解析し、地盤の固有振動周期が堤体の地震応答に強く影響するので応答計算の入力地震波は地盤の固有振動周期を考慮すべきこと、またフィルタイプダムのようなマッシブな構造物でも明瞭な固有振動周期を有し、その周期における堤頂の加速度スペクトルの増巾度は数倍以上に達することを明らかにし、さらに堤体の振動モードや減衰定数を求めている。これらは重要な新しい知見である。

第4章では、ダムにおいて観測した地震応答と、堤体を三質点系に置き換えて行なった応答のアナログ計算の結果とを比較し、一次固有振動周期前後の両者の振動特性は極めて近似することを示し、応答計算に一つの手掛かりを与えている。

第5章においては、模型堤体の振動実験の結果について述べている。すなわち、地震時のすべり速度を比較するとロックフィルダムはアースダムより耐震的であること、フィルタイプダムの堤体の大部分はせん断振動をするが、堤体の表面付近では変形の割合が急激に変化し表面に引張り亀裂を生じ易いこと、堤体の固有振動周期や振動モードにはダム地点の谷の形状が影響することなどについて考察している。

第6章では、実際のダムについて行なった地震観測、堤体を質点系に置き換えて行なった応答計算および模型堤体の振動実験などの結果を総合し、フィルタイプダムの耐震設計に用いる固有

振動周期，減衰定数および振動モードの求め方について提案し，かつ，この種のダムの耐震設計の手順を示している。

第 7 章は結論である。

以上要するに本論文は，フィルタイプダムの合理的耐震設計の方法を確立するための基礎となる事項について研究し，多くの新しい知見を得たもので，土木工学上寄与するところが少ない。

よって，本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。